

A efetividade do treinamento muscular respiratório em nadadores competitivos: uma revisão sistemática

The effectiveness of respiratory muscle training in competitive swimmers: a systematic review

Clarice da Silva Nogueira Neves¹ , George Alcívio Kieling¹ , Lucélia Luna Melo-Diaz² 

1. Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil

2. Red River College Polytechnic, Winnipeg, Manitoba, Canada

RESUMO

Introdução: O treinamento muscular respiratório pode otimizar a função pulmonar, contribuindo para a melhora do desempenho de nadadores competitivos. No entanto, há uma escassez de estudos que investigaram o impacto do treinamento muscular respiratório especificamente em nadadores. **Objetivo:** O objetivo deste estudo foi verificar a eficácia do treinamento dos músculos respiratórios sobre a força dos músculos respiratórios, função pulmonar, desempenho na natação e capacidade aeróbica em nadadores competitivos. **Método:** Trata-se de uma revisão sistemática da literatura, conduzida de acordo com os critérios PRISMA e registrada no PROSPERO. Um total de 629 artigos foi encontrado como resultado da estratégia de busca baseada no modelo PICO. Após a rigorosa aplicação dos critérios de elegibilidade, 13 artigos foram incluídos nesta revisão. **Resultados:** Os resultados indicaram uma melhora significativa nos valores de pressão inspiratória máxima; não foram observadas alterações significativas nos parâmetros gerais de função pulmonar; houve melhora no desempenho na natação e não foram observadas mudanças relevantes na capacidade aeróbica dos nadadores competitivos. **Conclusão:** O treinamento dos músculos respiratórios foi eficaz em aumentar a força dos músculos respiratórios, especialmente dos músculos inspiratórios, e contribuiu positivamente para o desempenho esportivo dos nadadores. No entanto, esse treinamento não demonstrou eficácia na melhora da função pulmonar geral nem da capacidade aeróbica dos atletas.

Palavras-chave: exercícios respiratórios; atletas; natação

ABSTRACT

Introduction: Respiratory muscle training can enhance lung function, improving performance of competitive swimmers. However, there is a lack of studies that have comprehensively examined the impact of respiratory muscle training specifically on swimmers. **Objective:** The objective of this study was to verify the effectiveness of respiratory muscle training on respiratory muscle strength, lung function, swimming performance and aerobic capacity among competitive swimmers. **Method:** This is a systematic review of the current literature, conducted according to PRISMA criteria and registered with PROSPERO. A total of 629 articles were identified using the PICO search strategy. Following rigorous eligibility criteria, 13 studies were included in this review. **Results:** The results showed a significant improvement in maximum inspiratory pressure values. No significant changes were observed in lung function parameters. There was an improvement in swimming performance and no significant changes were observed in the aerobic capacity of competitive swimmers. **Conclusion:** Respiratory muscle training was effective in increasing respiratory muscle strength, particularly in the inspiratory muscles, and positively contributed to the sports performance of swimmers. However, this training did not exhibit effectiveness in improving lung function or the aerobic capacity of the athletes.

Keywords: breathing exercises; athletes; swimming

Introdução

O treinamento muscular respiratório é uma intervenção destinada a aprimorar a resistência dos músculos inspiratórios e/ou expiratórios, bem como a otimizar a função respiratória [1]. Essa modalidade terapêutica utiliza dispositivos de espirometria de incentivo (por exemplo, Respireon), dispositivos de limiar de pressão (por exemplo, Threshold e PowerBreathe) ou dispositivos de resistência [2]. Os dispositivos de limiar de pressão apresentam válvulas calibradas que exigem o alcance de uma pressão-alvo para permitir o fluxo de ar, enquanto os dispositivos de resistência oferecem uma resistência constante, ajustável de acordo com o diâmetro das aberturas de passagem de ar. Por sua vez, os dispositivos de espirometria de incentivo estimulam inspirações profundas e lentas, visando ampliar os volumes pulmonares a partir de um feedback pré-estabelecido de fluxo [2]. O treinamento muscular respiratório constitui uma intervenção não farmacológica de baixo custo, de fácil aplicação e perfil de segurança favorável. É considerado essencial no manejo de determinadas doenças cardiopulmonares [3] e se configura como uma estratégia adjunta para otimização da aptidão física e do desempenho esportivo [3,4].

O papel essencial do treinamento muscular respiratório torna-se evidente ao se analisar o efeito da fadiga dos músculos respiratórios sobre o desempenho esportivo [5], tanto em indivíduos saudáveis [6] quanto em indivíduos com doenças cardiorrespiratórias, como hipertensão pulmonar [7] e insuficiência cardíaca crônica [8]. Em atletas, limitações no desempenho físico podem resultar da redução do fluxo sanguíneo para a musculatura esquelética devido à vasoconstrição e ao redirecionamento do fluxo para os músculos respiratórios. Essa resposta fisiológica promove o acúmulo de metabólitos, como o lactato, nos músculos respiratórios, intensificando a fadiga local e, conseqüentemente, reduzindo o desempenho atlético [5,9].

Atletas de diversas modalidades esportivas têm utilizado técnicas de treinamento muscular respiratório para superar essas limitações, aprimorar respostas fisiológicas e aprimorar a tolerância ao exercício [10]. Estudos mostram que a melhora da eficiência mecânica respiratória, o aumento da resistência à fadiga e a redução do consumo de oxigênio resultam em maior disponibilidade de oxigênio para a musculatura esquelética, culminando em maior resistência ao exercício, menor fadiga respiratória, redução da sensação de dispneia e menor esforço durante o exercício, tanto em condições de normóxia quanto de hipóxia [3,5,11]. Estudos corroboram esses achados, demonstrando melhorias significativas no desempenho de atletas de diferentes modalidades, como futebol [12,13], patinação [14], rúgbi [15], kickboxing [16], basquete [17,18], corrida [19,20] além do aumento da capacidade de sustentação de carga em triatletas [5].

Entretanto, a natação, diferentemente de outras modalidades esportivas, exige simultaneamente força e resistência, além de demandar um equilíbrio entre a produção de energia aeróbica e anaeróbica. A fadiga dos músculos inspiratórios pode afetar negativamente o desempenho do atleta, sobretudo devido às demandas respi-

ratórias associadas à posição em prona, resultando em uma redução de 16% na capacidade de gerar força, restrição da frequência respiratória e aumento da resistência ao fluxo de ar decorrente da imersão em água e da pressão hidrostática ao redor da cavidade torácica [11,21,22]. A incorporação do treinamento muscular respiratório no treinamento pode aumentar a força respiratória e o desempenho, além de prolongar os períodos de apneia, contribuindo para maior tempo de imersão e melhor resistência durante a natação [23].

Embora outras revisões sistemáticas já tenham abordado o treinamento muscular respiratório em atletas [3,24,25] bem como revisões mais específicas relacionando o treinamento muscular respiratório a esportes como o futebol [26], as conclusões desses trabalhos destacam melhorias na pressão inspiratória máxima ($PI_{\text{máx}}$) [26], no consumo máximo de oxigênio [26], no desempenho esportivo [3,10,24,25], na função pulmonar [3,10] e na força dos músculos respiratórios [25]. No entanto, as especificidades da natação tornam o contexto para atletas desse esporte limitado, devido à escassez de estudos que investigaram os efeitos do treinamento muscular respiratório em nadadores. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a efetividade do treinamento muscular respiratório sobre a força muscular respiratória, a função pulmonar, o desempenho na natação e a capacidade aeróbica em nadadores competitivos.

Métodos

Este estudo consiste em uma revisão sistemática conduzida de acordo com as recomendações do Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) e foi registrado no banco de dados público PROSPERO sob o número CRD42024518455.

Critérios de elegibilidade

Os critérios de inclusão foram: estudos com seres humanos; atletas de natação; estudos intervencionais; estudos observacionais (prospectivos, retrospectivos e transversais); ou estudos experimentais (ensaios clínicos randomizados), sem restrições quanto à raça, sexo ou país.

Os critérios de exclusão compreenderam: estudos que não incluíam treinamento muscular respiratório; atletas com patologias (por exemplo, asma ou lesão medular); para-atletas ou atletas com deficiência; estudos comparativos entre situações de normóxia e hipóxia ou em hipotermia; atletas de outras modalidades (por exemplo, futebol, basquete, rúgbi, tênis); estudos duplicados; estudos de caso e séries de casos; comentários; resumos de conferências; recomendações; cartas ao editor; editoriais; estudos contendo protocolos de ensaios clínicos randomizados; diretrizes; consensos; revisões; e estudos incompletos.

Fontes de informação

A busca foi realizada nas seguintes bases de dados: PubMed, Web of Science, Scopus e Embase.

Estratégia de busca

A estratégia PICO foi elaborada conforme os objetivos do estudo (Tabela I). Foram realizadas buscas utilizando descritores DeCS e MeSH relacionados aos termos da população (“athlete”) e da intervenção (“respiratory muscle training”, termo sem correspondência direta em DeCS/MeSH).

Tabela I - Estratégia PICO

Grupo	Variável
População	Atletas
Intervenção	Treino muscular respiratório
Comparações	Não se aplica
Desfecho	Função pulmonar; Desempenho na natação; Força dos músculos respiratórios; Capacidade aeróbica

A coluna “Grupo” refere-se à sigla PICO; Tabela desenvolvida pelos autores com base nos dados do estudo

A estratégia de busca utilizada foi: (“respiratory muscle training” OR “inspiratory muscle training” OR “expiratory muscle training” OR “breathing exercises” OR “respiratory training” OR “breathing devices”) AND (“Athlete” OR “Athletic performance”). Para a base de dados Embase, a estratégia utilizada foi: (“respiratory muscle training” OR “inspiratory muscle training” OR “expiratory muscle training” OR “breathing exercises” OR “respiratory training” OR “breathing devices”) AND (“Athletes” OR “Athletic performance”), visando maximizar a recuperação de artigos relevantes.

Filtros: Foram selecionados estudos publicados nos últimos dez anos (2014 a 2024) em português, inglês ou espanhol, com texto completo disponível gratuitamente ou acessível via assinatura institucional, de acordo com os critérios de inclusão do estudo.

Processo de seleção

A seleção dos estudos foi realizada em pares: dois revisores (CN e LMD) selecionaram independentemente os estudos de acordo com os critérios de inclusão. Em caso de discordância entre os dois revisores, um terceiro revisor (GK) atuou como mediador para avaliar e decidir sobre a inclusão ou exclusão do estudo. Estudos individuais incluídos em revisões sistemáticas obtidas a partir da estratégia de busca foram consultados separadamente como uma seleção adicional (fora da estratégia de busca). Os títulos e resumos dos estudos potencialmente elegíveis foram lidos na íntegra para seleção de acordo com os critérios de inclusão e exclusão pré-estabelecidos. Estudos com texto completo foram consultados quando as informações do resumo se mostraram insuficientes. O software ZOTERO® foi utilizado para gerenciar o rastreamento dos dados. Por fim, um fluxograma seguindo as recomendações do PRISMA (<http://www.prisma-statement.org>) foi elaborado para apresentar um resumo do processo de seleção dos estudos.

Processo de coleta de dados

Todos os estudos selecionados foram lidos na íntegra, e o processo de coleta de dados foi conduzido de forma semelhante ao processo de seleção, incluindo dois revisores independentes (em cegamento) e um terceiro revisor para mediar discordâncias. A coleta de dados foi realizada sem qualquer automação, utilizando exclusivamente a leitura completa dos relatórios.

Itens de dados

As seguintes informações foram extraídas de cada estudo: identificação do(s) autor(es), ano de publicação, país de origem, delineamento do estudo, tamanho da amostra, sexo, idade média dos participantes, tipo de treinamento respiratório e desfechos principais.

Avaliação do risco de viés dos estudos

O instrumento do National Heart, Lung, and Blood Institute (NIHLBI), “Quality Assessment of Controlled Intervention Studies”, foi utilizado para avaliar a qualidade metodológica dos estudos. Este instrumento foi selecionado por permitir uma avaliação estruturada e confiável da qualidade metodológica de estudos intervencionais, considerando potenciais vieses e validade interna. O instrumento consiste em 14 itens, com possíveis respostas “sim”, “não” ou “não relatado”. Um escore de 1 é atribuído para cada resposta “sim”, enquanto as demais respostas recebem escore 0. Dessa forma, o escore total representa o número de respostas afirmativas. Para avaliação qualitativa dos escores finais, estudos com escore acima de 12 foram considerados “bons”, aqueles entre 9 e 12 foram considerados “moderados” e estudos com escore abaixo de 9 foram considerados “fracos”. A avaliação e classificação da qualidade foram realizadas de forma independente por dois autores.

Métodos de síntese

Foi realizada uma síntese narrativa dos estudos incluídos, estruturada com base no delineamento do estudo, participantes, tipo de treinamento muscular respiratório e desfechos avaliados.

Avaliação do viés de relato

O risco de viés foi avaliado qualitativamente utilizando a plataforma Zotero, além do instrumento do NIHLBI, “Quality Assessment of Controlled Intervention Studies”.

Avaliação da certeza da evidência

A avaliação formal da certeza do corpo de evidências foi interpretada de forma qualitativa, considerando o delineamento dos estudos, a qualidade metodológica, o tamanho da amostra e a consistência dos resultados entre os estudos incluídos.

Resultados

A busca inicial resultou em 629 estudos: 111 na plataforma PubMed, 200 na Embase, 205 na Scopus e 113 na Web of Science. Desses, 351 foram excluídos por duplicidade, por não atenderem aos critérios de inclusão, e 60 por não incluírem nadadores (Figura 1).

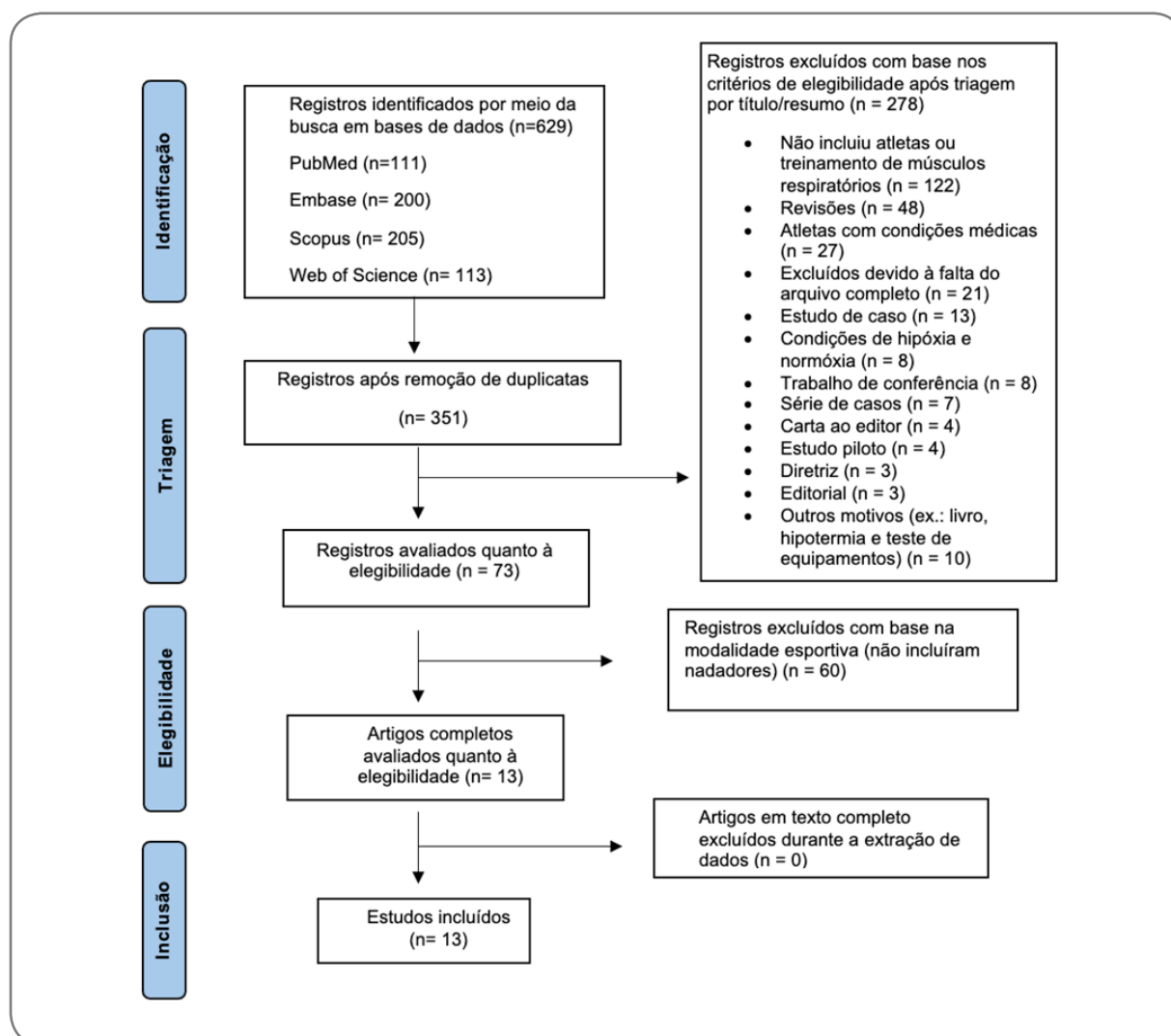


Figura 1 - Fluxograma PRISMA da seleção dos estudos

Dos 13 artigos selecionados, 11 eram ensaios clínicos randomizados, um estudo exploratório e um ensaio não randomizado. Quanto à qualidade metodológica, apenas um estudo apresentou boa qualidade, sete estudos tiveram qualidade moderada e cinco foram avaliados como de baixa qualidade.

Os estudos foram conduzidos nos Estados Unidos (2 estudos) [22,27], Reino Unido (2 estudos) [28,29], Chile (2 estudos) [30,31], Índia [32], República Tcheca [23], México [21], Portugal [33], Letônia [34], China [11] e Japão [35] com um estudo em cada país. A maioria dos estudos incluiu participantes de ambos os sexos. Um estudo não especificou o número de participantes masculinos e femininos [23] enquanto três estudos incluíram exclusivamente homens [4,11,35]. O tamanho mínimo da amostra

foi de 11 participantes [21] e o máximo de 43 [11], com idade média mínima de 11 anos [23] e idade média máxima de 21 anos [11,29]. Doze estudos foram publicados em inglês [4,11,21-23,27-29,32-35] e um em espanhol [31] (Tabela II - Apêndice I).

Entre os métodos de treinamento muscular respiratório, nove estudos utilizaram o “treinamento inspiratório resistivo ao fluxo”, sendo que sete deles empregaram dispositivos POWERbreathe [11,28-31,33,35], um estudo utilizou o dispositivo Threshold [23] e um estudo não especificou o tipo de dispositivo [22]. Os demais estudos aplicaram Práticas de Respiração Yóguica (Yogic Breathing Practices – YBP) [32], respiração de frequência controlada (Controlled Frequency Breathing – CFB) [27], protocolo MRfit [21] e exercícios respiratórios modificados [34].

O desfecho “força dos músculos respiratórios” foi analisado em dez estudos [11,22,23,27-31,33,35]. Oito estudos relataram melhorias significativas na Pressão Inspiratória Máxima ($PI_{máx}$) [22,23,27,28,30,31,33,35] no Grupo Experimental (GE) em comparação ao Grupo Controle (GC). Entretanto, os resultados para a Pressão Expiratória Máxima ($PE_{máx}$) foram inconsistentes. Vasickova *et al.* [23] relataram melhora na $PE_{máx}$ entre GE e GC, enquanto Lomax *et al.* [28] não observaram diferença estatisticamente significativa entre os grupos. Além do aumento da força muscular respiratória, Yañez-Sepulveda *et al.* [30] identificaram melhora significativa no fluxo inspiratório máximo entre GE e GC. Em contraste, dois estudos [29,33] não encontraram diferenças nos valores de $PI_{máx}$ entre os grupos após o TMR. Na análise intragrupo, Tan *et al.* [11] identificaram melhorias nos parâmetros de $PI_{máx}$ no GE ao comparar os resultados pré e pós- treinamento muscular respiratório.

Dos dez estudos que analisaram o desfecho “função pulmonar” [11,22,23,27,29-34] sete [22,23,27,29-31,33] não encontraram melhorias estatisticamente significativas nos parâmetros da função pulmonar ao comparar GE e GC. Apenas o estudo de Hakked *et al.* [32] relatou melhorias nos parâmetros de função pulmonar, incluindo Ventilação Voluntária Máxima (MVV) e Capacidade Vital Forçada (CVF) no GE em relação ao GC. Entretanto, não foram observadas melhorias na Capacidade Vital Lenta (CVL), Volume de Reserva Inspiratório (VRI), Ventilação Minuto (VE) e Fluxo Expiratório de Pico (FEP) [32]. Em comparações intragrupo, Tan *et al.* [11] relataram melhora na capacidade vital (CV) e Jakubovskis *et al.* relataram melhora na CVF e no Fluxo Inspiratório de Pico (FIP) [34], ambos no GE em relação à situação pré-treinamento.

O desfecho “desempenho na natação” foi analisado em dez estudos [11,23,27-34]. Entre eles, seis estudos [23,28-30,32,34] encontraram melhorias no desempenho no GE em comparação ao GC. Hakked *et al.* [32] relataram melhorias pela redução no número de braçadas; Jakubovskis *et al.* observaram aumento nos pontos World Aquatic (WA) [34]; Wilson *et al.* relataram melhora no desempenho nos 100 m exclusivamente quando o treinamento muscular respiratório foi combinado ao aquecimento [29] e Yañez-Sepulveda *et al.* observaram melhorias significativas nos tempos de nado para 50 m, 100 m e 200 m [30]. Lomax *et al.* [28] também verificaram melhorias no desempenho de 100 m e 200 m após o treinamento muscular respiratório, porém essas melhorias se limitaram a atletas com maior carga de treinamento (acima de 31 km/semana). Vasickova *et al.* [23] relataram aumento no tempo de apneia, com efei-

tos mantidos por um mês pós-TMR no GE em comparação ao GC, devido ao desenho cross-over. Análises intragrupo mostraram melhorias nos tempos de desempenho de 50 m e 100 m, redução do número de respirações durante a prova e aumento da distância percorrida antes da primeira inspiração no GE [11]. Entretanto, dois estudos não observaram melhorias significativas no desempenho na natação: Burtch *et al.* [27] e Cunha *et al.* [33] não registraram melhorias no desempenho de 200 m.

Por fim, o desfecho “capacidade aeróbica” foi analisado em apenas três estudos [21,27,31]. Nenhum estudo relatou alterações significativas nos parâmetros de capacidade aeróbica no GE em comparação ao GC [21,27,31].

Discussão

O objetivo deste estudo foi examinar a eficácia do treinamento muscular respiratório sobre a força dos músculos respiratórios, função pulmonar, desempenho na natação e capacidade aeróbica em nadadores competitivos. Os resultados mostraram que a maioria dos estudos incluídos nesta revisão sistemática relatou melhorias na $PI_{máx}$ [22,23,27,28,30,31,33,35] mas não nos parâmetros de função pulmonar. Os estudos indicaram melhorias no desempenho na natação, porém não identificaram alterações na capacidade aeróbica dos nadadores competitivos.

Em relação à força dos músculos respiratórios, oito dos dez estudos incluídos mostraram melhora na $PI_{máx}$. A $PI_{máx}$ avalia principalmente a força do diafragma [10]. Esse achado é corroborado por outros estudos que analisaram este parâmetro em diferentes esportes, nos quais o aumento da $PI_{máx}$ foi atribuído a melhorias na capacidade oxidativa diafragmática e ao aumento de força, contribuindo para maior resistência à fadiga [10], e melhor desempenho atlético. Estudos com jogadores de futebol mostraram que o aumento da $PI_{máx}$ resultou na redução do tempo de sprints [12,36] melhorando a tolerância ao exercício e aumentando a resistência dos atletas [36]. De forma semelhante, o treinamento muscular respiratório, tanto em nadadores de elite quanto não elite, aumentou significativamente a $PI_{máx}$ independentemente da idade dos participantes, duração da intervenção ou valores basais de $PI_{máx}$ [37].

Em contraste, a $PE_{máx}$ foi pouco examinada nos estudos, sendo utilizada apenas em alguns casos como medida de força muscular respiratória. A $PE_{máx}$ avalia a força dos músculos respiratórios, particularmente os músculos intercostais internos e abdominais [10]. A capacidade consolidada da $PI_{máx}$ em prever fraqueza diafragmática [38] aliada à sua relação com melhorias no desempenho anaeróbico, pode ter favorecido a preferência pelo uso da $PI_{máx}$ em detrimento da $PE_{máx}$ nos estudos analisados [39].

Os achados desta revisão sistemática mostraram que não houve melhora significativa na função pulmonar entre nadadores competitivos após o treinamento muscular respiratório, de forma semelhante ao descrito por Carvajal-Tello *et al.* [37]. Esses resultados podem estar relacionados aos limites supra-fisiológicos da função pulmonar em atletas. Uma meta-análise mostrou que, antes do treinamento muscu-

lar respiratório, os valores dos principais parâmetros de função pulmonar já se aproximavam de $\geq 100\%$ dos níveis fisiológicos em atletas [3]. A natação é um esporte que impõe grande demanda à função pulmonar devido à elevada pressão hidrostática e ao alto fluxo inspiratório durante a respiração [40], fatores que favorecem o treinamento dos músculos inspiratórios [40]. Portanto, considerando que a função pulmonar já se encontra próxima de um platô máximo, a possibilidade de ganhos adicionais é limitada [3,36]. Além disso, a utilização de cargas insuficientes no treinamento muscular respiratório pode ter contribuído para a ausência de melhorias significativas, considerando a já elevada função pulmonar dos atletas [3], particularmente no estudo de Hakked *et al.* [32], que utilizou práticas de respiração yóguica sem carga adicional de treinamento muscular respiratório.

A ausência de melhora na função pulmonar, ou a melhora apenas em alguns parâmetros, com treinamento muscular respiratório também foi observada em outros esportes, como corrida [41], futebol [26], hóquei [42], e artes marciais [16]. Assim, é possível que a função pulmonar já estivesse otimizada antes do treinamento muscular respiratório nesses atletas ou que a resistência utilizada fosse insuficiente.

Esta revisão sistemática mostrou melhora no desempenho atlético entre nadadores após o treinamento muscular respiratório, apesar da variabilidade significativa nos parâmetros de mensuração do desempenho. A melhora do desempenho foi observada não apenas em estudos com nadadores [34,40], mas também em outros esportes, como corrida [19], ciclismo [43], e futebol. O treinamento muscular respiratório aumenta a capacidade oxidativa dos músculos inspiratórios, reduz a demanda de oxigênio desses músculos e promove remodelamento tecidual, como hipertrofia diafragmática e aumento de fibras tipo II [44]. Essas adaptações aumentam a força e a funcionalidade dos músculos respiratórios, retardam o reflexo metabólico respiratório [40,45,46], facilitam a disponibilidade de oxigênio para os músculos periféricos [45], e reduzem a percepção de falta de ar e desconforto nos músculos dos membros [45,47]. Portanto, essas melhorias fisiológicas podem explicar a melhora no desempenho atlético [3,45].

Por fim, não foram observadas melhorias na capacidade aeróbica; contudo, apenas três estudos abordaram esse desfecho em nossa revisão. O $VO_{2máx}$ está relacionado à quantidade de oxigênio difundida e utilizada pelo organismo durante a atividade física [10]. Duas meta-análises abordaram esse tema: Hajghanbari *et al.* [48], ao analisar 13 estudos, não relataram melhora no $VO_{2máx}$, enquanto Fernández-Lázaro *et al.* [10] observaram que o treinamento muscular respiratório produziu melhorias na capacidade aeróbica, embora não significativas. Espinosa-Mendez *et al.* [21] encontraram melhora no $VO_{2máx}$ em seu estudo, mas reconheceram a escassez de estudos corroborando tais achados. Isso pode ocorrer porque o $VO_{2máx}$ depende mais do débito cardíaco do que do sistema respiratório. Estima-se que, durante exercício intenso, os músculos respiratórios podem utilizar até 16% do débito cardíaco, reduzindo a disponibilidade de oxigênio para os músculos esqueléticos responsáveis pelo movimento. Esse fenômeno ocorre devido à resposta simpática vasoconstritora, que

diminui o fluxo sanguíneo para os músculos esqueléticos, reduzindo sua produção e consumo de energia. Como resultado, os músculos esqueléticos podem apresentar maior fadiga, e o fluxo sanguíneo é redistribuído para preservar a função respiratória sem comprometer as demandas energéticas dos músculos respiratórios [10].

Esta revisão sistemática apresenta limitações. O pequeno número de estudos reduz a robustez das conclusões. Além disso, a variabilidade na mensuração dos desfechos, especialmente no desempenho na natação, limita a comparação entre os estudos. As maiores variações estiveram relacionadas ao método de treinamento muscular respiratório, carga de treinamento e frequência semanal. Devido à falta de padronização dessas variáveis, a realização de uma meta-análise não foi viável. Quanto à avaliação da qualidade metodológica, entre os 13 estudos incluídos, apenas um estudo foi classificado como de boa qualidade, sete como moderada e cinco como baixa qualidade. Os achados indicam que a maioria das evidências disponíveis apresenta limitações metodológicas importantes, que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. No entanto, dada a ausência de revisões sistemáticas anteriores nesta área específica, decidiu-se realizar este estudo para sintetizar as evidências disponíveis e destacar lacunas a serem abordadas em pesquisas futuras.

Ainda assim, a força deste estudo reside no fato de que, na medida do nosso conhecimento, trata-se da primeira revisão sistemática a examinar a eficácia do treinamento muscular respiratório em nadadores atletas. Isso confere ao estudo uma abordagem inovadora, estabelecendo um referencial para futuras investigações e preenchendo uma lacuna nessa área de pesquisa.

Recomendações para pesquisas futuras

Estudos futuros devem buscar a melhora da qualidade metodológica (por exemplo, randomização e cegamento) e priorizar a padronização dos protocolos de TMR, especialmente quanto ao tipo de dispositivo utilizado, bem como variáveis-chave de treinamento, como carga, frequência e duração da intervenção, que apresentaram considerável variabilidade entre os estudos. Recomenda-se também incluir análises por subgrupos com base no nível competitivo dos atletas, pois isso pode ajudar a diferenciar respostas de desempenho de acordo com diferentes níveis de competição, mesmo entre nadadores profissionais. Além disso, os estudos devem explorar os mecanismos fisiológicos subjacentes aos ganhos de desempenho e investigar os efeitos de parâmetros de resistência mais elevados no treinamento muscular respiratório, especialmente em nadadores com maior condicionamento respiratório basal.

Conclusão

O treinamento muscular respiratório foi eficaz em aumentar a força dos músculos respiratórios, especialmente a força inspiratória, em nadadores. Além disso, o treinamento muscular respiratório foi eficaz em melhorar o desempenho atlético desses atletas. Entretanto, não se observou eficácia deste treinamento na melhora da função pulmonar e da capacidade aeróbica entre os nadadores.

Afiliação acadêmica

Este artigo deriva de uma tese de pós-graduação em Educação Física, conduzida sob supervisão da Dra. Lucélia Luna Melo-Díaz, no Complexo Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná.

Potencial conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Fontes de financiamento

Não houve fontes de financiamento externas para este estudo.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: Neves CNN, Kielling GA, Melo-Díaz LL; **Aquisição de dados:** Neves CNN, Kielling GA, Melo-Díaz LL; **Análise e interpretação dos dados:** Neves CNN, Kielling GA, Melo-Díaz LL; **Análise estatística:** Neves CNN, Kielling GA, Melo-Díaz LL; **Obtenção de financiamento:** Neves CNN, Kielling GA, Melo-Díaz LL; **Redação do manuscrito:** Neves CNN, Kielling GA, Melo-Díaz LL; **Revisão crítica do manuscrito quanto a conteúdo intelectual relevante:** Neves CNN, Kielling GA, Melo-Díaz LL.

Referências

1. Watson K, Egerton T, Sheers N, Retica S, McGaw R, Clohessy T, *et al.* Respiratory muscle training in neuromuscular disease: a systematic review and meta-analysis. *European Respiratory Review* 2022;31:1–23. doi:10.1183/16000617.0065-2022
2. Winkle MJ, Sankari A. Respiratory muscle strength training. Treasure Island (FL): StatPearls; 2024.
3. Fernández-Lázaro D, Corchete LA, García JF, Jerves Donoso D, Lantarón-Caeiro E, Cobreros Mielgo R, *et al.* Effects on respiratory pressures, spirometry biomarkers, and sports performance after inspiratory muscle training in a physically active population by Powerbreath®: A systematic review and meta-analysis. *Biology (Basel)* 2023;12:1–19. doi:10.3390/biology12010056
4. Yáñez-Sepúlveda R, Verdugo-Marchese H, Duclos-Bastías D, Tuesta M, Alvear-Ordenes I. Effects of inspiratory muscle training on muscle oxygenation during vascular occlusion testing in trained healthy adult males. *Int J Environ Res Public Health* 2022;19:1–11. doi:10.3390/ijerph192416766
5. Kowalski T, Kasiak PS, Rebis K, Klusiewicz A, Granda D, Wiecha S. Respiratory muscle training induces additional stress and training load in well-trained triathletes—randomized controlled trial. *Front Physiol* 2023;1–14. doi:10.3389/fphys.2023.1264265
6. Ferraro F V, Zhou Y, Roldán A, Edris R. Multimodal respiratory muscle training and Tai Chi intervention with healthy older adults: A double-blind randomised placebo control trial. *J Bodyw Mov Ther* 2025;42:527–34. doi: 10.1016/j.jbmt.2025.01.046
7. Fontoura FF, Roncato G, Meyer GMB, da Luz Goulart C, Spilimbergo FB, Cipriano Junior G, *et al.* Inspiratory muscle training on exercise capacity, dyspnoea and health status in pulmonary hypertension: A randomised controlled trial. *Respirology* 2025;30:760–9. doi:10.1111/RESP.70054
8. Wang QC, Li JY, Ni XS, Zhao WW, Wang XC, Wang LC. Impact of walking and respiratory training on cardiopulmonary function and activity endurance in patients with chronic heart failure. *Clin Cardiol* 2025;48. doi:10.1002/CLC.70123
9. López-Pérez ME, Romero-Arenas S, Giráldez-García MA, Colomer-Poveda D, Márquez G. Acute psychophysiological responses during exercise while using resistive respiratory devices: A systematic review. *Physiol Behav* 2022; 256:113968. doi:10.1016/J.PHYSBEH.2022.113968
10. Fernández-Lázaro D, Gallego-Gallego D, Corchete LA, Fernández Zoppino D, González-Bernal JJ, García Gómez B, *et al.* Inspiratory muscle training program using the powerbreath®: Does it have ergogenic potential for respiratory and/or athletic performance? A systematic review with meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18:1–18. doi:10.3390/ijerph18136703
11. Tan M, Liang Y, Lv W, Ren H, Cai Q. The effects of inspiratory muscle training on swimming performance: A study on the cohort of swimming specialization students. *Physiol Behav* 2023;271:1–8. doi:10.1016/j.physbeh.2023.114347
12. Sousa MM, Pimentel MDS, Sobreira IDA, Barros RDJ, Borghi-Silva A, Mazzoli-Rocha F. Inspiratory muscle training improves aerobic capacity in amateur indoor football players. *Int J Sports Med* 2021;42:456–63. doi:10.1055/A-1255-3256
13. Xavier DM, Miranda JP, Figueiredo PHS, Lima VP. The effectiveness of respiratory muscular training in athletes: A systematic review and meta-analysis. *J Bodyw Mov Ther* 2025; 42:777–92. doi:10.1016/j.

jbmt.2025.01.010

14. Kowalski T, Klusiewicz A, Rębiś K, Wilk A, Starczewski M. Comparative study of different respiratory muscle training methods: Effects on cardiopulmonary indices and athletic performance in elite short-track speedskaters. *Life* 2024;14:1–13. doi:10.3390/LIFE14091159
15. Freitas JP, Costa R, Barranco LC, Reis K, Lopes AJ, Mainenti MRM, *et al.* Effect of inspiratory muscle training on pulmonary function, respiratory muscle strength, aerobic performance, sports skills, and quality of life in wheelchair rugby athletes. *J Bodyw Mov Ther* 2024; 40:360–5. doi:10.1016/J.JBMT.2024.04.049
16. Alnuman N, Alshamasneh A. The effect of inspiratory muscle training on the pulmonary function in mixed martial arts and kickboxing athletes. *J Hum Kinet* 2022;81:53–63. doi:10.2478/HUKIN-2022-0005
17. Fernández-Lázaro D, Corchete LA, García JF, Jerves Donoso D, Lantarón-Caeiro E, Cobreros Mielgo R, *et al.* Effects on respiratory pressures, spirometry biomarkers, and sports performance after inspiratory muscle training in a physically active population by Powerbreath®: A systematic review and meta-analysis. *Biology (Basel)* 2022;12:56. doi:10.3390/BIOLOGY12010056
18. Cavaggioni L, Trecroci A, Formenti D, Courtney R, Dascanio G, Scurati R, *et al.* Effects of a nasal breathing protocol on physical fitness and pulmonary function in young basketball players. *J Sports Med Phys Fitness* 2022;62:1368–74. doi: 10.23736/S0022-4707.21.12921-4
19. Chang YC, Chang HY, Ho CC, Lee PF, Chou YC, Tsai MW, *et al.* Effects of 4-week inspiratory muscle training on sport performance in college 800-meter track runners. *Medicina (Kaunas)* 2021;57:1–8. doi: 10.3390/MEDICINA57010072
20. Mizuno S, Suzuki Y, Goto K, Takao K, Sumi D, Ishida K, *et al.* Relationship between respiratory muscle endurance and dyspnea during high-intensity exercise in trained distance runners. *Respir Physiol Neurobiol* 2022;296. doi: 10.1016/J.RESP.2021.103812
21. Espinosa-Mendez CM, Renero-Carrillo FJ, San Martin-Rodriguez SL, Flores-Chico B. The effect of respiratory muscle training on the maximum oxygen consumption and the anaerobic threshold. *Sport Mont* 2020;18:57–60. doi: 10.26773/smj.201010
22. Shei R-J, Lindley M, Chatham K, Mickleborough TD. Effect of flow-resistive inspiratory loading on pulmonary and respiratory muscle function in sub-elite swimmers. *J Sports Med Phys Fitness* 2016;56:392–8. PMID: 25503711
23. Vašičková J, Neumannová K, Svozil Z. The effect of respiratory muscle training on fin-swimmers' performance. *J Sports Sci Med* 2017;16:526. PMID: 29238252 PMCID: PMC5721182
24. Karsten M, Ribeiro GS, Esquivel MS, Matte DL. The effects of inspiratory muscle training with linear workload devices on the sports performance and cardiopulmonary function of athletes: A systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport* 2018; 34:92–104. doi: 10.1016/J.PTSP.2018.09.004
25. Carvajal-Tello N, Ortega JG, Caballero-Lozada AF, Devia-Quíñonez MJ, González-Calzada I, Rojas-Hernández D, *et al.* Effects of inspiratory muscle training on lung function parameter in swimmers: a systematic review and meta-analysis. *Front Sports Act Living* 2024;6:1–15. doi: 10.3389/FS-POR.2024.1429902/FULL
26. León-Morillas F, León-Garzón MC, Del Mar Martínez-García M, Reina-Abellán J, Palop-Montoro MV, Oliveira-Sousa SL. Effects of respiratory muscle training in soccer players: A systematic review with a meta-analysis. *Sportverletzung-Sportschaden* 2021;35:154–64. doi: 10.1055/A-1524-0021/ID/JR021-15/BIB
27. Burtch AR, Ogle BT, Sims PA, Harms CA, Symons TB, Folz RJ, *et al.* Controlled frequency breathing reduces inspiratory muscle fatigue. *J Strength Cond Res* 2017;31:1273–81. doi: 10.1519/JSC.0000000000001589
28. Lomax M, Kapus J, Brown PI, Faghy M. Impact of weekly swimming training distance on the ergogenicity of inspiratory muscle training in well-trained youth swimmers. *J Strength Cond Res* 2019;33(8):2185–93. doi: 10.1519/JSC.0000000000002375
29. Wilson EE, Mckeever TM, Lobb C, Sherriff T, Gupta L, Hearson G, *et al.* Respiratory muscle specific warm-up and elite swimming performance. *Br J Sports Med* Published 2013:1–5. doi: 10.1136/bjsports-2013
30. Yañez-Sepulveda R, Alvear-Ordenes I, Tapia-Guajardo A, Verdugo-Marchese H, Cristi-Montero C, Tuesta M. Inspiratory muscle training improves the swimming performance of competitive young male sprint swimmers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2021;61:1348–453. doi: 10.23736/S0022-4707.21.11769-4

31. Troncoso-Galleguillos P, Araneda OF, Naranjo-Orellana J. Inspiratory muscle training for 3 weeks increases maximal inspiratory pressure but not the performance in young Chilean elite swimmers. *Retos* 2024; 60:1110–21.
32. Hakkeed CS, Balakrishnan R, Krishnamurthy MN. Yogic breathing practices improve lung functions of competitive young swimmers. *J Ayurveda Integr Med* 2017;8:99–104. doi: 10.1016/j.jaim.2016.12.005
33. Cunha M, Mendes F, Paciência I, Rodolfo A, Carneiro-Leão L, Rama T, *et al.* The effect of inspiratory muscle training on swimming performance, inspiratory muscle strength, lung function, and perceived breathlessness in elite swimmers: a randomized controlled trial. *Porto Biomed J* 2019;4:e49. doi: 10.1097/j.pbj.0000000000000049
34. Jakubovskis G, Zuša A, Solovjova J, Boobani B, Glaskova-Kuzmina T, Grants J, *et al.* Effects of breathing exercises on young swimmers' respiratory system parameters and performance. *MCB Molecular and Cellular Biomechanics* 2024;21. doi: 10.62617/mcb.v21i1.205
35. Ando R, Ohaya T, Kusanagi K, Koizumi J, Ohnuma H, Katayama K, *et al.* Effect of inspiratory resistive training on diaphragm shear modulus and accessory inspiratory 2 muscle activation. *Appl Physiol Nutr Metab* 2020;1–31. doi: 10.1139/apnm-2019-0906
36. Maćkała K, Kurzaj M, Okrzymowska P, Stodółka J, Coh M, Rożek-Piechura K. The effect of respiratory muscle training on the pulmonary function, lung ventilation, and endurance performance of young soccer players. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:1–14. doi: 10.3390/ijerph17010234
37. Carvajal-Tello N, Guillermo Ortega J, Fabricio Caballero-Lozada A, Juliana Devia-Quiñonez M, González-Calzada I, Rojas-Hernández D, *et al.* Effects of inspiratory muscle training on lung function parameter in swimmers: a systematic review and meta-analysis. *Front Sports Act Living* 2024;16:1–15. doi: 10.3389/fspor.2024.1429902
38. Schoser B, Fong E, Geberhiwot T, Hughes D, Kissel JT, Madathil SC, *et al.* Maximum inspiratory pressure as a clinically meaningful trial endpoint for neuromuscular diseases: a comprehensive review of the literature. *Orphanet J Rare Dis* 2017;12. doi: 10.1186/S13023-017-0598-0
39. Çelik Z, Güzel NA, Allahverdiyeva S, Şendur HN, Cerit MN. Effects of simultaneous aerobic and inspiratory muscle training on diaphragm function, respiratory muscle strength, endurance, and fatigue index: randomized-controlled trial. *Eur J Appl Physiol* 2025. doi: 10.1007/S00421-025-05868-1
40. Liu S, Gou P, Lin M. The effect of respiratory muscle training on swimming performance: a systematic review and meta-analysis. *Front Physiol* 2025;16:1638739. doi: 10.3389/FPHYS.2025.1638739/FULL
41. Rożek-Piechura K, Kurzaj M, Okrzymowska P, Kucharski W, Stodółka J, Maćkała K. Influence of inspiratory muscle training of various intensities on the physical performance of long-distance runners. *J Hum Kinet* 2020;75:127–37. doi: 10.2478/hukin-2020-0031
42. Ramos I, Barreira S, Viana R. Inspiratory muscle training on lung function of male roller hockey players: a randomized controlled trial pilot study. *Porto Biomed J* 2020;5:e075. doi: 10.1097/J.PBJ.0000000000000075
43. Chambault J, Grand G, Kayser B. Sex-specific effects of respiratory muscle endurance training on cycling time trial performance in normoxia and hypoxia. *Front Physiol* 2021;12. doi: 10.3389/FPHYS.2021.700620
44. Fabero-Garrido R, Del Corral T, Plaza-Manzano G, Sanz-Ayan P, Izquierdo-García J, López-De-Urall-de-Villanueva I. Effects of respiratory muscle training on exercise capacity, quality of life, and respiratory and pulmonary function in people with ischemic heart disease: systematic review and meta-analysis. *PTJ: Phys Ther Rehabil J* 2024. doi: 10.1093/ptj/pzad164
45. Kowalski T, Dias Rodrigues G, Zanini M. Application of respiratory muscle training for improved intermittent exercise performance in team sports: a narrative review. *Front Sports Act Living* 2025;7:1–8. doi: 10.3389/FSPOR.2025.1632207
46. Lima TBW, Silva BBS, Souza APSS, Aires DMF, Fagundes MG. The effect of inspiratory muscle training on the inspiratory muscle metaboreflex: A systematic review. *Can J Respir Ther* 2025;61:51–9. doi: 10.29390/001C.132324
47. Lorca-Santiago J, Jiménez SL, Pareja-Galeano H, Lorenzo A. Inspiratory muscle training in intermittent sports modalities: A systematic review. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17:1–17. doi: 10.3390/ijerph17124448
48. Hajghanbari B, Yamabayashi C, Buna TR, Coelho JD, Freedman KD, Morton TA, *et al.* Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. *J Strength Cond Res* 2013;27:1643–63. doi: 10.1519/JSC.0B013E318269F73F



Tabela II - Resumo das características e desfechos dos estudos incluídos

Características do estudo				Características da intervenção		Características do desfecho
Autor/Ano/ País	Tipo de estudo/ Contexto	Tamanho da amostra/% homens /Idade média (+-DP)	Qualidade Metodológica	Intervenção x Controle	Desfechos avaliados	Principais resultados (após ajustes estatísticos)
Hakke et al. 2017/ Índia	Estudo clínico randomizado com grupo controle pareado	27 (GE, N = 14; GC, N = 13) / 52% / Idade média por grupo: YBP = 15,23 ± 1,59 anos; GC = 15,08 ± 1,26 anos.	12 (moderada)	Grupo Yogic Breathing Practices (YBP): 30 min, 5 dias/semana, durante 1 mês + natação regular e treinamento físico. GC: apenas práticas de treinamento físico.	Função pulmonar: teste de espirometria – CVL, VRI, CVF, VVM e VE, e FEP nos dias 1 e 30. Desempenho na natação: Desempenho na natação: observação subjetiva do número de braçadas por inspiração nos dias 1 e 30.	Função pulmonar: melhoria significativa em VVM ($F(1,22) = 6,06$, $p = 0,02$) e CVF ($F(1,22) = 5,68$, $p = 0,026$) entre os grupos após a intervenção. Nenhuma diferença significativa foi observada em CVL, VRI, VE e FEP. Desempenho na natação: após a intervenção, houve aumento significativo no número de braçadas por inspiração no grupo YBP em comparação ao GC ($F(1,22) = 13,06$, $p = 0,002$).
Burtch et al. 2017/ Estados Unidos	Ensaio clínico randomizado	20 ((GE, N = 9; GC, N = 11) / 56% / idade média: 20 ± 1 anos.	7 (fraca)	Ambos os grupos realizaram aquecimento de 1.000 m com natação leve e variada. Treinamento: 4 sessões/semana durante 4 semanas, 35 min por sessão, consistindo em 12 repetições de 50 m.	Desempenho na natação: tempo em 200 jardas (segundos). Força dos músculos respiratórios PIM e PEM. Função pulmonar: espirometria – CVF, VEF1, FEF25–75 e FEP. Capacidade Aeróbica: VO2máx (avaliada em esteira).	Desempenho na natação: quatro semanas de treino com RFC não melhoraram o desempenho em comparação ao GC ($p = 0,479$). Força dos músculos respiratórios: um teste máximo de 200 jardas levou a uma redução de 12% nos valores médios de PIM aos 46 s pós-prova (116 cm H ₂ O, $p < 0,001$, IC95% -7 a -23 cm H ₂ O). Após 1,3 minutos pós-exercício, os valores médios de PIM retornaram próximos ao baseline. Após 4 semanas

				Respiração de frequência controlada (RFC): limitaram a respiração a 2 inspições por comprimento de piscina, totalizando 24 respirações por treino. GC: respirou de acordo com o padrão de braçadas, a cada 2–3 braçadas, resultando em 10–12 respirações por comprimento de piscina.		de treino com RFC, a queda nos valores médios de PIM dos períodos pré-teste até 46 s pós-teste foi eliminada em comparação ao GC. Os valores de PEM não se alteraram pós-prova, nem no baseline nem após o treino. Função pulmonar: nenhuma diferença significativa foi encontrada (teste exato de Fisher, $p = 0,32$ para ambos os desfechos). Capacidade aeróbica: nenhum efeito foi observado no grupo de treino RFC nem no GC.
Vasicková et al. 2017/ República Tcheca	Ensaio randomizado cruzado, controlado e com avaliador cego	20 (GE, N = 12; GC, N = 8) / não informado o sexo / idade média por grupo: GE = $12,0 \pm 1,7$ anos; GC = $11,5 \pm 2,4$ anos.	10 (moderada)	GE: treinamento regular de natação com TMR diária durante 1 mês. O TMR incluiu dispositivos Threshold IMT (treinamento muscular inspiratório) e Threshold PEP (pressão expiratória positiva) diariamente, com protocolos de RMET (treinamento de endurance dos músculos respiratórios) e RMFT (treinamento de força dos músculos respiratórios). As resistências foram ajustadas inicialmente a	Função Pulmonar: CV, CVF, CI, VEF1 e FEP. Força dos músculos respiratórios: PImáx e PEM. Desempenho na natação: teste de apneia máxima – piscina interna de 50 m, 3 a 5 vezes/semana (3 para nadadores mais jovens e 5 para mais velhos).	Função pulmonar: no GE, todos os parâmetros ventilatórios foram maiores após TMR, mas a melhora não foi significativa. No GC, VEF1 e FEP aumentaram após o treinamento regular, porém sem diferença significativa. Força dos músculos respiratórios: no GE, após um mês de TMR, PImáx aumentou significativamente em 20,8% e PEM em 10,6%. Diferenças significativas em PImáx (13,4%) e PEM (23,1%) também foram observadas. No GC, após um mês de treinamento regular, não houve aumento significativo em PImáx, e PEM apresentou pequena diminuição. Efeito grande nos valores de PImáx e PEM (pré, pós e final) foi

				30% dos valores máximos medidos de P_{Imáx} e PEM, aumentando semanalmente 2 cm H₂O até atingir a resistência máxima possível, mantendo o nível. RMFT: 10 repetições de inspiração máxima com o Threshold IMT e 10 repetições de expiração máxima com o Threshold PEP. RMET: 15 minutos para cada dispositivo. GC: treinamento regular de natação.		encontrado entre GE e GC após o primeiro mês (pós: d = 1,28) e efeito pequeno após o segundo mês (final: d = 0,49). Houve efeito médio e grande nas medidas pós e final (pós: d = 0,49; final: d = 1,19) para os parâmetros de PEM. Desempenho na natação: no GE, a distância percorrida por uma inspiração aumentou 11,36 m (27,4%). Comparado aos resultados iniciais, houve diferença significativa nas medidas de acompanhamento, com efeito grande (9,45 m). No GC, houve aumento médio de 3,37 m no primeiro mês. Comparado aos resultados iniciais, após um mês adicional de treinamento respiratório, houve diferença significativa nas medidas de acompanhamento, com efeito grande, aumentando a distância em 9,12 m (20,7%).
Yañez-Sepulveda et al. 2021 / Chile	Ensaio clínico randomizado	15 (GE, N = 9; GC falso-controle, GFC, N = 6) / 100% / idade média: GE = 15,5 ± 1,15 anos; GFC = 14,7 ± 1,09 anos.	9 (moderada)	Treinamento muscular inspiratório (TMR) por 4 semanas. GE realizou duas sessões diárias de TMR usando dispositivos POWERbreathe Classic Competition®, com 30 inspirações dinâmicas máximas a uma	Função pulmonar: espirometria – VEF1, CVF, FEP, relação VEF1/CVF (índice de Tiffeneau), FEF25-75% e MVV. Força dos músculos respiratórios: P_{Imáx} e MIF, avaliados com dispositivo	Função pulmonar: nas comparações intragrupo, apenas o GE apresentou aumento significativo do S-Index (p = 0,0003), fluxo inspiratório (MIF, p = 0,0008), VEF1 (p = 0,007), CVF (p = 0,0004), FEP (p = 0,01), FEF25-75% (p = 0,03) e MVV (p = 0,0001). Força dos músculos respiratórios: comparações entre grupos mostraram alterações induzidas pelo TMR, com

				carga ajustada semanalmente conforme o S-Index. Ajuste de carga do GE: 50% do S-Index, aumentando 5% semanalmente. GFC: ajuste de carga 15% do S-Index, mantido constante. Caso a carga máxima fosse atingida antes de 4 semanas, os participantes mantiveram-na até o fim do período de treinamento. Aquecimento: 30 inspirações máximas a 15% do S-Index, realizado por ambos os grupos.	POWERbreathe Kinetic K5® (força dinâmica máxima). Desempenho na natação: três provas de nado livre – 50 m, 100 m e 200 m, em piscina olímpica, uma vez por três dias consecutivos.	efeitos significativos e grandes na força respiratória (S-Index, ES: 1,29 IC95%: 0,15–2,38; p = 0,03) e MIF (ES: 1,31 IC95%: 0,16–2,42; p = 0,02). Desempenho na natação: redução significativa nos tempos de nado em todas as provas – 50 m (ES: -2,29 IC95%: -3,86 a -0,68; p = 0,002), 100 m (ES: -1,75 IC95%: -3,04 a -0,40; p = 0,008) e 200 m (ES: -2,12 IC95%: -3,61 a -0,59; p = 0,003). O aumento absoluto da força inspiratória foi correlacionado com tempos menores nas provas de 50 m (r = 0,72; p = 0,003) e 100 m (r = 0,65; p = 0,008). Fluxo inspiratório máximo mais elevado também se associou a tempos menores nos 50 m (r = 0,7; p = 0,003) e 100 m (r = 0,62; p = 0,01). Outros parâmetros respiratórios não apresentaram associação com desempenho na natação.
Espinosa-Mendez et al. 2020 / México	Ensaio clínico randomizado	11 (GE, N = 6; GC, N = 5) / 36,36% / idade média: 14,3 ± 1,2 anos	8 (fraca)	GE: TMR (protocolo MRFit) por 20 minutos, duas vezes por semana durante oito semanas, incorporado ao treinamento habitual. GC: treinamento habitual sem MRFit. Protocolo MRFit: 20 minutos por sessão,	Capacidade aeróbica: VO_{2máx} – ergometria em esteira.	Capacidade aeróbica: não houve diferenças significativas no VO_{2máx} entre GE e GC (p > 0,05). Observou-se diminuição média do VO_{2máx} em ambos os grupos: GE apresentou média de 47,35 ml/min, com redução de 2,03 ml/min; GC apresentou média de 49,12 ml/min, com redução de 4,9 ml/min em relação à

				totalizando 16 sessões ao longo de oito semanas, utilizando dispositivo com carga ponderada para músculos respiratórios, composto por tubos de quatro calibres diferentes (elaboração própria previamente validada).		primeira avaliação (diferença não estatisticamente significativa).
Lomax et al. 2017 / United Kingdom	Ensaio experimental não randomizado	33 (LOW, N = 18; HIGH, N = 15) / 54,54% / idade média: LOW = 16 ± 3 anos; HIGH = 16 ± 1 ano	7 (fraca)	Dois grupos baseados na distância semanal de treinamento: grupo de baixa distância de treinamento (LOW) ou grupo de alta distância de treinamento (HIGH). Durante as 6 semanas, os treinadores asseguraram que o programa geral de treinamento de natação fosse o mesmo para ambos os grupos, IMT e controle. TMR (IMT) realizada com dispositivo POWERbreathe duas vezes ao dia, 7 dias/semana, por 6 semanas. Cada sessão consistia em 30 respirações a 50% do P_{lmax}. Os	Força dos músculos respiratórios: P_{lmax} e P_Emax (pré e pós cada teste de desempenho). Desempenho na natação: esforço máximo nos 100 m e 200 m nado crawl a partir de partida em mergulho, em ordem contrabalçada e em ocasiões separadas dentro de uma semana. Tempos de nado registrados por cronômetro, incluindo parciais de 100 m no percurso de 200 m. Velocidade de nado e SR registrados por 100 m e 200 m usando zona central	Força dos músculos respiratórios: P_{lmax} aumentou significativamente após TMR (F = 105,142; p < 0,001), enquanto P_Emax não apresentou alterações. Maior aumento de P_{lmax} observado nos grupos LOWIMT (98 ± 4% de adesão à TMR) e HIGHIMT (91 ± 3% de adesão à TMR) (F = 16,355; p < 0,001; d = 0,97–1,29). Desempenho na natação: Antes da TMR, os tempos de 100 m e 200 m foram, em média, 14% mais rápidos nos nadadores do grupo HIGH comparados ao grupo LOW (p < 0,001). TMR melhorou os tempos de 100 m (F = 14,455; p < 0,001; power = 0,954) e 200 m (F = 21,108; p < 0,001; power = 0,993) apenas no grupo LOWIMT (100 m: d = 0,32; 200 m: d = 0,64), não nos grupos HIGHIMT, LOWcon ou HIGHcon.

				participantes ajustavam periodicamente a carga para que as 30 respirações pudessem ser completadas com esforço máximo.	da piscina de 12,5 m e expressos por 100 m.	As parciais de 100 m do percurso de 200 m diferiram entre HIGH e LOW ($F = 10,844$; $p = 0,003$; power = 0,889). No grupo LOWIMT, a primeira parcial de 100 m ($d = 0,39$) e a segunda ($d = 0,24$) foram mais rápidas após TMR ($p \leq 0,05$). No grupo HIGHcon, a primeira e a segunda parciais foram mais lentas ($d = -0,58$; $p \leq 0,05$). A melhora no P _{lmax} pós-TMR no grupo LOWIMT não apresentou correlação com as mudanças nos tempos de nado de 100 m ou 200 m pré e pós TMR ($p > 0,05$).
Shei R et al. 2016 / Estados Unidos	Desenho experimental duplo-cego, paralelo	24 (GE1, N = 8; GE2, N = 8; GC, N = 8) / 50% / idade média: 19,9 ± 2,6 anos.	7 (fraca)	GE1: Treinamento combinado de natação (TN) com TMI resistiva ao fluxo (80% do MIP sustentado), com aumento progressivo da razão trabalho/descanso até falha da tarefa, 3 dias/semana (TN+TMI, n = 8). GE2: TN com TMI simulada (TN+Sham-TMI, n = 8). GC: TN apenas (n = 8).	Função pulmonar: espirometria - RLV e CVT. Força dos músculos respiratórios: MIP, pressão inspiratória máxima sustentada (PIMS).	Função pulmonar: Não houve diferenças significativas ($p > 0,05$) entre TN+Sham-TMI e TN apenas no início ou ao final do estudo de 12 semanas para CVF, VEF1, RLV e CVT. Nenhuma mudança significativa foi observada dentro dos grupos, exceto VEF1 no grupo TN+TMI, que aumentou significativamente ($p = 0,001$; IC95%: 0,19–0,68 L/s) ao final do estudo de 12 semanas em relação à linha de base (%Δ, +14,5%). Força dos músculos respiratórios: Aumento significativo ($p < 0,05$) em várias medidas foi observado no GE1 ao final das 12 semanas comparado à

				linha de base: MIP (%Δ, +90,0%) e PIMS (%Δ, +49,2%).		
Cunha et al. 2019/ Portugal	Ensaio clínico randomizado	29 (GE, N = 17; GC, N = 12) / 31,25% / idade mediana: GE = 15 anos; GC = 14 anos	13 (boa)	GE: Programa adicional de TMI descrito como “TMR” de alta intensidade (50% da PIM). Os participantes aumentavam periodicamente a carga, permitindo apenas 30 manobras inspiratórias por sessão. GC: Intervenção de TMI com baixa intensidade (15% da PIM), mantendo a carga inicial durante toda a intervenção. Dispositivo: POWERbreathe Plus PB-2002, 2 ciclos de 30 inspirações cada, 5 dias/semana, durante 12 semanas, antes do treino de natação.	Desempenho na natação: tempo para completar 200 m em teste de tempo (TT). Força dos músculos respiratórios (inspiratórios): PIM Função pulmonar: espirometria	Desempenho na natação: GE e GC apresentaram aumento nos pontos FINA, com mudanças médias de 30 (IC: -0,60) e 19 (IC: 12-27), respectivamente. O protocolo não apresentou diferenças significativas entre grupos (p = 0,271). Força dos músculos respiratórios (inspiratórios): Não foram encontradas diferenças significativas entre grupos após a intervenção (p = 0,914). A TMI mostrou melhoria intragrupo nos valores de PIM: mudança média de 19,6 (p < 0,001) no GE e 17,9 (p = 0,036) no GC. Função pulmonar: Não houve diferenças significativas entre grupos para CVF (p = 0,262), VEF1 (p = 0,265) e PEF (p = 0,270). Houve aumento modesto de CVF e VEF1 no GE, com mudança média de 0,1 L; CVF atingiu significância (p = 0,011), mas VEF1 não (p = 0,061).

Tan et al. 2023 / China	Ensaio clínico randomizado	43 (GE, N = 20; GC, N = 23) / 100% / Idade média: GE = 21,21 ± 0,61 anos; GC = 21,26 ± 0,74 anos	8 (fraca)	GE: Treino padrão com TMI utilizando o dispositivo Power Breather Plus por seis semanas. Programa de TMI: 15–20 min por sessão, três séries de 30 inspirações cada. GC: Treino regular de natação.	Desempenho na natação: tempo no nado livre de 50 m, número de inspirações em 50 m, distância antes da primeira inspiração no nado livre, tempo no nado livre de 100 m. Força dos músculos respiratórios: PIM, FIM e CIM. Função pulmonar: espirometria –CV.	Desempenho na natação: No nado de 50 m, o GC teve ligeira melhora (42 s → 40,4 s; p = 0,28), enquanto o GE apresentou redução significativa do tempo (39,6 s → 35,4 s; p = 0,0018). Número de inspirações em 50 m: sem diferença no GC (15,73 → 15,75; p = 0,99), mas redução significativa no GE (11,45 → 7,85; p = 0,006). Distância antes da primeira inspiração: ligeira diminuição no GC (31,34 m → 29,25 m; p = 0,39), aumento significativo no GE (27 m → 30,95 m; p = 0,013). Tempo no nado de 100 m: diminuição modesta no GC (121,47 s → 114,65 s; p = 0,203) e redução expressiva no GE (112,25 s → 102,3 s; p = 0,004). Força dos músculos respiratórios: PIM melhorou significativamente no GE a partir da segunda semana (p < 0,01), com aumento adicional entre a segunda e quarta semanas (p < 0,01). CG apresentou progresso modesto (p = 0,05 na sexta semana vs. pré-treino). PIM final: GE = 117,70 ± 14,83 → 162,87 ± 10,77; GC = 126,61 ± 20,69 → 144,19 ± 16,14. FIM: melhorias significativas no GE desde a segunda semana (p < 0,01); GC apenas a partir da quarta semana (p = 0,03). Pós-treino: GE = 5,97 ± 0,84 → 8,52 ± 0,83; GC = 6,51 ± 0,89 → 7,54 ±
-------------------------------	----------------------------	--	-----------	--	---	---

						0,99. CIM: ambos os grupos aumentaram a cada duas semanas; GE significativo a partir da segunda semana ($p < 0,01$), GC somente na sexta semana. Pós-treino: GE = $5,97 \pm 0,84 \rightarrow 8,52 \pm 0,83$; GC = $2,08 \pm 0,76 \rightarrow 3,34 \pm 0,80$. Função pulmonar: Sem mudança significativa no CV do GC; GE apresentou aumento substancial na sexta semana ($4483,42 \pm 673,12 \rightarrow 5048,48 \pm 651,88$; $p = 0,01$).
Ando et al. 2020/Japão	Ensaio clínico randomizado	19 (GE, N = 10; GC, N = 9) / 100% / Idade média: GE = $19,3 \pm 0,1$ anos; GC = $19,3 \pm 0,1$ anos.	10 (moderada)	GE: Programa de treino resistivo inspiratório de 6 semanas + treino usual de natação e força. GC: Treino usual de natação e força apenas. Protocolo: Dispositivo de TMI (POWERbreathe) usado para treino resistivo inspiratório, com inspirações máximas a 50% do valor da PIMax. Sessões: 30 inspirações máximas, duas vezes ao dia, seis dias/semana.	Força dos músculos respiratórios: PIMax (medida por espirometria computadorizada com manômetro de boca).	Força dos músculos respiratórios: A PIMax aumentou significativamente em ambos os grupos após 6 semanas. No entanto, a mudança relativa da PIMax do baseline até 6 semanas foi significativamente maior no GE comparado ao GC. Valores de PIMax no início (15%, 45% e 75% da PIMax): GC = $20,8 \pm 2,9$ cmH₂O; $62,4 \pm 8,7$ cmH₂O; $104,0 \pm 14,5$ cmH₂O. GE = $19,3 \pm 2,7$ cmH₂O; $58,0 \pm 8,1$ cmH₂O; $96,6 \pm 13,5$ cmH₂O. PIMax após 6 semanas (15%, 45% e 75% da PIMax): GC = $23,3 \pm 3,3$ cmH₂O; $69,8 \pm 10,0$ cmH₂O; $116,3 \pm 16,7$ cmH₂O. GE = $24,4 \pm 3,4$ cmH₂O; $73,2 \pm 10,1$ cmH₂O; $122,0 \pm 16,8$ cmH₂O.

Wilson et al. 2013 / Reino Unido	Ensaio clínico randomizado cruzado	15 / 60% / 21,2 ± 1,6 anos	10 (moderada)	Os participantes foram aleatoriamente alocados semanalmente a um dos quatro protocolos de aquecimento durante quatro semanas consecutivas: Protocolo 1: Aquecimento padrão de natação de 2.500 m (100 × 25 m), combinando os quatro estilos, trabalho apenas de pernas, apenas de braços e trabalho submerso. Protocolo 2: Aquecimento específico para músculos respiratórios (Powerbreathe): 2 séries de 30 inspirações a 40% da PIMax para prevenir fadiga. Protocolo 3: Protocolo 1 seguido de aquecimento simulado de IME (carga de 15% da PIMax).	Desempenho na natação: tempo no sprint de 100 m livre após aquecimento em piscina de 25 m. Força dos músculos respiratórios: PIMax e PEMax. Função pulmonar: espirometria - CVF, CVF percentual previsto, relação VEF1/CVF, percentual previsto da relação, fluxo expiratório máximo (PEF) e PEF percentual previsto.	Desempenho na natação: Diferenças significativas entre os quatro protocolos de aquecimento. O protocolo mais rápido foi o protocolo 4 (natação + aquecimento IME) com tempo de 100 m de 57,05 s. Protocolo 4 foi significativamente mais rápido que protocolo 2 (diferença média = 1,18 s; IC95% 0,44–1,92; p<0,01) e protocolo 1 (diferença média = 0,62 s; IC95% 0,001–1,23; p=0,05). Comparado ao protocolo 3, a diferença não foi significativa (diferença média = 0,33 s; IC95% –0,44–1,11; p=1,00). Protocolo 2 foi mais rápido que protocolo 3 (diferença média = 0,85 s; IC95% 0,05–1,65; p=0,035). Força dos músculos respiratórios: Nenhuma diferença significativa entre os protocolos. Função pulmonar: Nenhuma diferença significativa entre os protocolos.
--	------------------------------------	----------------------------------	---------------	--	---	---

Protocolo 4: Protocolo 1 seguido de aquecimento de IME (protocolo 2).

Jakubovskis et al. 2024 / Letônia	Estudo exploratório	31 (GE = 15; GC = 16) / ambos os sexos / Idade média: GE = 16,15 ± 2,4 anos; GC = 16,5 ± 2,0 anos	9 (moderada)	Os participantes foram reavaliados após quatro semanas: GC (n = 16): Treinamento regular sem alterações nas técnicas respiratórias. GE (n = 15): Treinamento regular com exercícios respiratórios modificados, reduzindo a frequência de inspiração e aumentando gradualmente a apneia durante a natação.	Função pulmonar: (espirometria): CVF, PIF e PEF. Desempenho na natação: Pontos World Aquatic (WA) - prova de 100 m.	Função pulmonar: Após quatro semanas, o GE apresentou melhora significativa na CVF (↑ 4%–6%, p = 0,02) e PIF (↑ 24%–34%, p = 0,001). O PEF aumentou levemente (↑ 6%), sem significância estatística (p = 0,46). O GC não apresentou alterações significativas em nenhuma medida respiratória. Desempenho na natação: O GE aumentou os pontos WA em 6%–8% (p = 0,001), indicando melhora de desempenho. O GC não apresentou alterações.
Troncoso-Galleguillos et al. 2024 / Chile.	Ensaio clínico randomizado	14 (GE = 7; GC = 7) / 71,43% (n = 10) / Idade média: GE = 17,1 ± 2,2 anos; GC = 16,0 ± 1,4 anos	9 (moderada)	Ambos os grupos mantiveram o treinamento regular de natação. GE: 36 sessões de treinamento de músculos respiratórios ao longo de três semanas — duas sessões diárias de 30 respirações a 70% da P_{Imáx}	Força dos músculos respiratórios: P_{Imáx}. Função pulmonar espirometria - CVF, VEF1, razão VEF1/CVF, PIF e PEF Capacidade aeróbica: VO₂max.	Força dos músculos respiratórios: Efeito de interação significativo para P_{Imáx} (p = 0,0115) com grande tamanho de efeito (η² = 0,4254). A análise post hoc mostrou aumento significativo da P_{Imáx} no GE após a intervenção (p = 0,0010); sem alterações no GC. Função pulmonar: Nenhum efeito significativo foi observado para CVF, VEF1, razão VEF1/CVF, PEF ou PIF.

utilizando o dispositivo Powerbreathe®.	Desempenho na natação: prova de 200 m livre em piscina aquecida de 25 m (tempo, número de braçadas e número de respirações).	Capacidade aeróbica: Nenhum efeito significativo observado nas variáveis ergospirométricas. Desempenho na natação: Nenhuma diferença significativa foi encontrada no tempo parcial ($p = 0,3347$, $\eta^2 = 0,0734$), número de braçadas ($p = 0,8747$, $\eta^2 = 0,0169$) ou número de respirações ($p = 0,7980$, $\eta^2 = 0,0247$).
---	---	--

95% IC = 95% Intervalo de Confiança; CIM = Capacidade Inspiratória Máxima; CI = Capacidade Inspiratória; CV = Capacidade Vital; CVF = Capacidade Vital Forçada; CVL = Capacidade Vital Lenta; CPT = Capacidade Pulmonar Total; EG = Grupo Experimental; EMF = Fadiga Muscular Expiratória; FEP = Fluxo Expiratório de Pico; FEF = Fluxo Expiratório Forçado; FIM = Fluxo Inspiratório Máximo; FC = Frequência Cardíaca; FCP = Frequência Cardíaca de Pico; FMI = Fadiga Muscular Inspiratória; GC = Grupo Controle; MD = Mediana; N/A = Não Aplicável; OR = Odds Ratio = Razão de Chances; PaO_2/FiO_2 = Pressão Parcial de Oxigênio / Fração Inspirada de Oxigênio; PIM / $PI_{máx}$ = Pressão Inspiratória Máxima; PEM / $PE_{máx}$ = Pressão Expiratória Máxima; $RER_{máx}$ = Razão de Troca Respiratória no Exercício Máximo; TME = Treinamento Muscular Expiratório; TMF = Treinamento de Força dos Músculos Respiratórios; TMEF = Treinamento de Endurance dos Músculos Respiratórios; VE = Ventilação Minuto; $VE_{máx}$ = Taxa Máxima de Ventilação Expiratória; VRI = Volume de Reserva Inspiratório; VR = Volume Residual Pulmonar; VEF = Volume Expiratório Forçado; VEF1 = Volume Expiratório Forçado no 1º segundo; $VO_{2máx}$ = Consumo Máximo de Oxigênio; FB = Frequência de Braçadas; ECR = Ensaio Clínico Randomizado; HR = Razão de Risco; p = valor p